第47卷　第1期
2024年1月
干旱区地理
ARID　LAND　GEOGRAPHY
Vol. 47　No. 1
Jan. 2024

基于熵权TOPSIS方法与模糊物元模型的河西走廊地区旅游生态安全评估

杨荣美[1]，　周　宏[1,2]，　张燕妮[1]，　卢训贤[1]，　王娜娜[1]

（1. 西北师范大学旅游学院，甘肃 兰州　730000；2. 甘肃省旅游发展研究院，甘肃 兰州　730000）

摘　要： 旅游地生态安全评估事关旅游可持续发展，择优选取评价方法对降低旅游生态安全评估结果不确定性意义重大。基于此，以河西走廊地区5个地级市2011—2020年旅游生态安全状况为研究对象，构建旅游生态安全评价指标体系，对熵权-优劣解距离法（熵权TOPSIS法）与模糊物元模型量化结果进行评价。结果表明：(1) 2种方法评价结果表明，河西走廊地区旅游生态安全总体呈上升趋势。(2) 河西走廊地区驱动力指数与压力指数变化趋势相对协调，影响指数与状态指数变化趋势相似，响应指数较好地反映了区域政府的举措成果。(3) 模糊物元模型方法获得的评价结果可信度更高。研究结果可为评估旅游生态安全体系选取模型时提供一定参考。

关 键 词： 旅游生态安全；DPSIR模型；模糊物元模型；熵权TOPSIS；河西走廊

文章编号： 1000－6060(2024)01－0117－10(0117～0126)

作为西北地区重要的生态安全屏障，河西走廊集山地-绿洲-荒漠等多类型于一体，是一个典型的复合生态系统，具有重要的生态价值。河西地区的旅游发展是甘肃省旅游业发展中的重要支撑，考虑到其生态环境脆弱、旅游资源不可再生等问题，在生态文明建设背景下，河西走廊区域旅游生态安全研究显得尤为必要。旅游生态安全是生态安全在旅游领域的延伸与拓展，针对其概念学界尚未统一界定，但对概念内涵的观点基本一致，即旅游地发展旅游活动过程中能够保持生态系统稳定、生态环境健康可持续发展[1]。结合已有文献[2-4]，本文尝试定义河西走廊旅游生态安全概念，即以河西走廊旅游资源和生态环境为本底，开发利用旅游资源的同时保持区域生态环境良好、生态系统安全稳定的一种旅游高质量发展状态。

国外学术界对旅游生态安全领域研究逐渐从生态系统脆弱性[5]、旅游环境承载力[6]向预警系统构建、生态修复[7-8]、生态保护政策实施[9]、生态旅游适宜性评价[10-11]等方向转变。国内关于旅游生态安全研究已经受到众多专家学者的关注。从研究对象看，涉及岛屿、河流等微观层面以及城市、省份等中宏观层面；从研究内容看，主要集中在评价与趋势预测、驱动因素、生态安全格局[12]以及生态风险[13]等；从研究方法看，以定量研究为主，主要包括径向基函数（RBF）神经网络模型[14-15]、灰色系统GM(1, 1)预测模型[16]、改进的优劣解距离法（TOPSIS）[17]、生态足迹模型[18]等。此外，在指标体系构建方面，学者们提出并普遍采用了驱动力-压力-状态-影响-响应（DPSIR）模型、承载力-支持力-吸引力-延续力-发展力（CSAED）模型、压力-状态-响应—经济-环境-社会（PSR-EES）模型等多个评价指标体系。经过对国内外该方向相关文献梳理总结后发现，旅游生态安全领域的研究逐渐聚焦于生态保护与生态修复。

关于旅游生态安全研究，多位学者对其进行探究且取得丰硕成果。Han等[19]、杨秀平等[1]、卢璐

收稿日期： 2023-06-30；　**修订日期：** 2023-07-24

基金项目： 甘肃省青年科技基金(21JR7RA154)；甘肃省哲学社会科学重点招标项目(20ZD009)；甘肃省文化和旅游课题项目(WLKT2022-10)；甘肃省教育厅青年博士基金项目(2022QB-037)资助

作者简介： 杨荣美(2000-)，女，硕士研究生，主要从事生态旅游与大数据研究. E-mail: Yangrm3249@163.com

通讯作者： 周宏(1986-)，男，博士，副教授，主要从事生态旅游研究. E-mail: hongzhou@nwnu.edu.cn

等[20]从不同角度对旅游生态安全现有研究进行系统梳理，并对未来发展方向提出前瞻性建议；徐少癸等[21]、刘倩倩等[22]等均基于模糊物元模型分别探究中国、安徽旅游生态安全状况，进一步创新优化了旅游生态安全评价方法；穆学青等[2]、杨友宝等[23]、田里等[24]分别对黄河流域、张家界、中国陆地边境区域进行旅游生态安全动态演变规律及影响因素研究。现有研究成果为旅游生态安全研究提供了坚实基础，但仍存在问题有待进一步研究：第一，目前为止还没有统一的旅游生态安全评价指标体系；第二，已有研究采用多种方法对研究区域旅游生态安全进行评价，但较少有研究将2种或多种评估方法进行对比分析；第三，河西走廊地区是"一带一路"的重要节点以及国家重要生态安全屏障，也是甘肃省旅游业发展最富吸引力和竞争力的区域之一，研究区域具有一定代表性。基于此，本文以河西走廊5个地级市为研究对象，利用DPSIR模型与韧性评估相结合的方法构建旅游生态安全评价指标体系，通过熵权TOPSIS法与模糊物元模型2种研究方法对河西区域2011—2020年旅游生态安全状况进行比较评价，择优选取一种较为恰当的评价方法，以期为建设西部地区生态安全屏障，推动河西走廊地区生态环境保护与旅游高质量发展提供理论参考，同时也为中国其他地区开展旅游生态安全相关研究提供借鉴。

1 数据与方法

1.1 研究区概况

河西走廊（37°17′~42°48′N，93°23′~104°12′E；简称河西）[25]，包括武威市、金昌市、张掖市、酒泉市、嘉峪关市5个地级市。该地区位于中国西部地区，地处甘肃省西北部，黄河以西，是一个呈西北-东南走向的狭长地带。历史文化和自然景观是河西走廊最具价值的名片。区域范围内旅游资源类型多样，如：沙漠绿洲、石窟寺庙、草地森林等。数据显示，2021年河西5市共接待国内游客9521.23×10^4人次，旅游收入达668.33×10^8元，占甘肃省旅游综合收入的36.27%。2021年12月，甘肃省成立"一带一路"河西走廊旅游宣传联盟，致力于甘肃省以及河西走廊地区文化传播与旅游发展。但河西地区由于生态环境脆弱以及一些人为原因存在一定生态危机，因此有必要加强其旅游生态安全研究。

1.2 数据来源

数据主要来源于2011—2020年甘肃省统计年鉴以及河西5市对应年份的统计年鉴、国民经济和社会发展统计公报、环境质量状况公报等。其中，部分数据通过相关城市官方政府网站咨询以及查找以上资料得到基础数据后计算得到，个别年份缺失指标采用线性插值法将其补充完整。

1.3 研究方法

1.3.1 指标体系构建方法

（1）DPSIR模型

DPSIR模型是由欧洲环境署（European Environment Agency，EEA）融合"压力-状态-响应"模型（PSR）和"驱动力-状态-响应"（DSR）模型的优点扩展延伸而来的新模型[26]。相较于PSR与DSR，DPSIR模型较为全面，不仅能够比较准确地描述系统的复杂性以及相互之间的因果关系，而且可以揭示经济运作及其环境之间的因果关系[3]。

本研究中，驱动力（D）指引起旅游生态环境发生变化的潜在原因，如城镇化发展水平、第三产业增长状况等；压力（P）指基于驱动力导致旅游生态环境发生变化的直接原因，如就业压力、交通状况、污染物排放等；状态（S）指旅游生态环境在受到冲击之后生态系统所反映的状况，如旅游经济状况、遭遇压力后的生态状况等；影响（I）指当生态系统处于上述状态时，这种变化对于人类及社会产生的影响，如空气质量等；响应（R）指人类及社会为缓解生态环境带来的负面影响所采取的正向弥补策略，如污水处理、财力支持、人才弥补等。

（2）韧性评估

"韧性"一词源自于拉丁词语"resilio"，可称为"弹性"。1973年，加拿大生态学家Holling提出了"生态韧性"的概念和理论[27]。韧性广泛应用于社会学、经济学、地理学等领域，近几年开始应用到旅游研究中。旅游韧性是旅游系统在遭遇突发情况、自然灾害等破坏性冲击时自身的应对能力、适应能力以及恢复能力。韧性评估是正确认识旅游业韧性的关键[28]，应用较多的韧性评估方法有2种，即韧性代理法和指标体系法[29]。

基于对韧性理念的理解并参考以往韧性评估指标体系[30-31]，本研究主要从适应能力以及恢复能

力2方面进行旅游韧性评估。适应能力主要是指旅游地生态系统在受到冲击或意外时能够迅速做出相应调整的能力，这主要体现在该区域旅游经济状况等。恢复能力主要指在维持生态系统内部结构及功能不变的情况下，生态环境能够恢复到最初状态、生态系统能够恢复到原始发展水平或更高水平的能力，如环境污染处理（城市空气质量达标率等）、生态环境状况（人均公园绿地面积等）。

（3）评价指标体系构建

结合目前已有研究成果以及研究区域实际情况，考虑到指标选取的科学性、客观性、代表性以及数据获取可行性，以DPSIR模型为主、以韧性评估方法为辅构建旅游生态安全评价指标体系，如表1所示。

表1 旅游生态安全评价指标体系

Tab. 1 Tourism ecological safety evaluation index system

准则层	指标层	单位	指标权重	指标性质	参考文献
驱动力（D）	人均GDP	元	0.0268	−	[22,29,32−39]
	城镇化率	%	0.0588	−	
	人口密度	人·km^{-2}	0.0269	−	
	人口自然增长率	‰	0.0195	−	
	第三产业增长率	%	0.0218	−	
压力（P）	SO_2排放量	10^4 t	0.0202	−	[22,36,39−41]
	生活污水排放量	10^4 t	0.0154	−	
	固体废物产生量	10^4 t	0.0297	−	
	城镇人口失业率	%	0.0138	−	
	公路客运周转量	万人公里	0.1188	+	
状态（S）	国内旅游收入	10^8元	0.1290	+	[2,22,36,38,42−43]
	人均旅游收入	元	0.0825	+	
	人均公园绿地面积	m^2	0.0304	+	
	城市建成区绿地率	%	0.0520	+	
	空气质量达到及优于二级天数	d	0.0213	+	
影响（I）	旅游收入占GDP比重	%	0.0879	+	[21,38,44]
	第三产业占GDP的比重	%	0.0328	+	
	城市空气质量达标率	%	0.0213	+	
响应（R）	污水处理达标率	%	0.0190	+	[2,21,36,39,41]
	财政支出占GDP的比重	%	0.0598	+	
	普通高等学校在校学生数	人	0.1123	+	

注：“+”指正向指标；“−”指负向指标。

1.3.2 *旅游生态安全评价方法* 研究采用2种方法比较分析河西地区旅游生态安全状况，探究河西走廊地区旅游生态安全整体情况，遴选较优评价方法。

熵权TOPSIS法：即熵权法与TOPSIS法相结合，利用熵权法得出各项评价指标权重，借助TOPSIS法计算评价对象与正、负理想解的接近程度。它是通过确定评价对象与最优解、最劣解之间的距离并进行排序，若评价对象距离最优解最近且离最劣解最远，则将其确定为最优决策方案。主要步骤为：（1）数据标准化处理；（2）熵值法确定指标权重；（3）建立加权规范化矩阵；（4）确定正、负理想解；（5）计算指标与正、负理想解的欧氏距离；（6）计算指标与理想解相对贴近度。相对贴近度值越大旅游生态安全状况越好；反之则越差。具体公式步骤见相关参考文献[32]。

模糊物元分析：是模糊数学与物元分析的有机结合，用来解决模糊不相容问题。借助模糊物元模型反映河西走廊地区旅游生态安全整体状况，利用欧式贴近度科学测度河西5市旅游生态安全。主要步骤包括：（1）构建模糊物元以及复合模糊物元；（2）遵循从优隶属度原则进行数据处理；（3）构建

标准模糊物元与差平方模糊物元；(4) 计算欧式贴近度。值越大说明两者越接近，反之越远。具体公式步骤见相关参考文献[45-46]。

1.3.3 旅游生态安全等级 旅游生态安全评价目前尚未有统一标准，本文参考诸多学者[33,47-49]研究成果，结合河西走廊地区实际情况，以欧式贴近度值所处区间划分5个旅游生态安全等级(表2)。

2 结果与分析

2.1 熵权TOPSIS分析结果

2.1.1 综合生态安全指数 从2011—2020年河西区域旅游生态安全指数均值(表3)来看，河西地区旅游生态安全指数均值由2011年的0.2748上升至2020年的0.3844，提升幅度小，但生态安全整体趋于提升态势。其中，2011—2019年旅游生态安全指数呈直线式上升，2020年受新冠疫情影响，旅游业基本处于停滞状态，国内经济受到重大影响，各行各业受影响较大，导致2020年旅游生态安全指数骤然下降。研究期内，河西5市旅游生态安全状态处于不安全级、较不安全级以及临界安全级，较安全级仅在酒泉市出现2次，10 a来区域整体旅游生态安全水平不断提升，未来发展潜力较大。

由图1可知，武威市、张掖市安全等级状态由较不安全逐步演化为临界安全，酒泉市安全等级状态由较不安全演化为较安全，金昌市和嘉峪关市则由不安全转化为较不安全，5市整体安全等级处于逐步优化状态。

表2 旅游生态安全等级划分

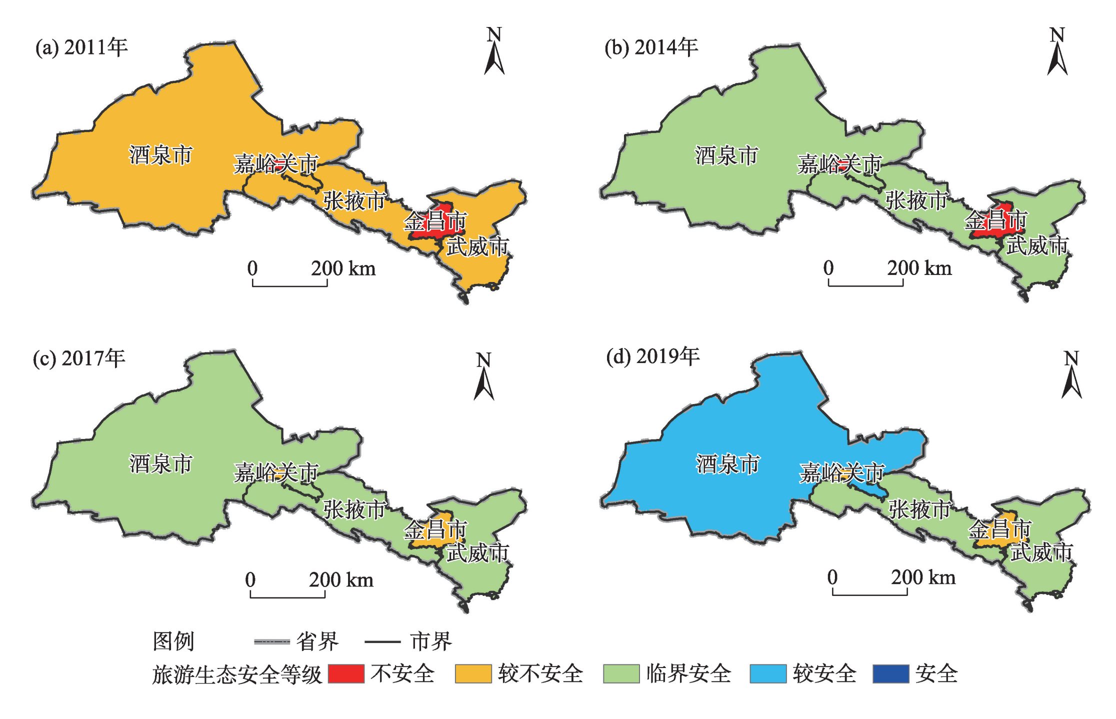
Tab. 2 Classification of tourism ecological security level

生态安全指数	(0.0, 0.2]	(0.2, 0.4]	(0.4, 0.6]	(0.6, 0.8]	(0.8, 1.0]
生态安全状态	不安全	较不安全	临界安全	较安全	安全

表3 2011—2020年河西5市旅游生态安全指数均值

Tab. 3 Average value of tourism ecological safety index in five cities of the Hexi Corridor from 2011 to 2020

年份	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
生态安全指数均值	0.2748	0.2951	0.3111	0.3276	0.3448	0.3739	0.3925	0.4110	0.4462	0.3844



注：该图基于国家测绘地理信息局标准地图服务网站下载的审图号为GS(2019)3266号的标准地图制作，底图边界无修改。下同。

图1 河西5市旅游生态安全等级分布

Fig. 1 Distribution of tourism ecological security level in five cities of the Hexi Corridor

2.1.2　子系统生态安全指数　驱动力指数。驱动力指数发展趋势可分为2011—2013年缓慢下降、2014—2017年波动起伏、2018—2020年再次下降3个阶段，表明驱动力对于旅游生态安全贡献不太稳定，但其整体上呈现波动式发展态势。除嘉峪关市在2011—2020年有小幅度增长外，其余4市都有不同幅度下降(图2a)。下降力度最大是酒泉市，驱动力指数下降幅度达0.1068，主要是人均GDP、城镇化率以及人口密度的不断增加所致。

压力指数。压力系统整体呈现2011—2018年缓慢上升、2019—2020年急剧下降的"倒V"趋势，压力指数平均值由2011年的0.2367变为2020年的0.2362，数值变化幅度不大，但生态安全状态依旧是较不安全等级。武威市压力指数波动幅度最大，2020年较2011年下降了0.0538(图2b)。酒泉市压力指数在2018年达到最高点(0.9205)，主要原因是2018年酒泉市SO_2排放量、固体废弃物产生量相对减少，环境压力有所缓解。

状态指数。状态指数整体上经历了先升后降的趋势，受新冠肺炎疫情影响，以2019年为转折点，研究区域旅游生态状态指数呈下降趋势，平均状态指数2020年比2011年上升了0.1804，这表明河西地区旅游生态安全状态有明显好转，5市总体上处于稳步提升状态，其中酒泉市、张掖市和嘉峪关市3市2020年状态指数比2011年均有较大幅度提升(图2c)，这主要是由于旅游经济收入的增加以及生态环

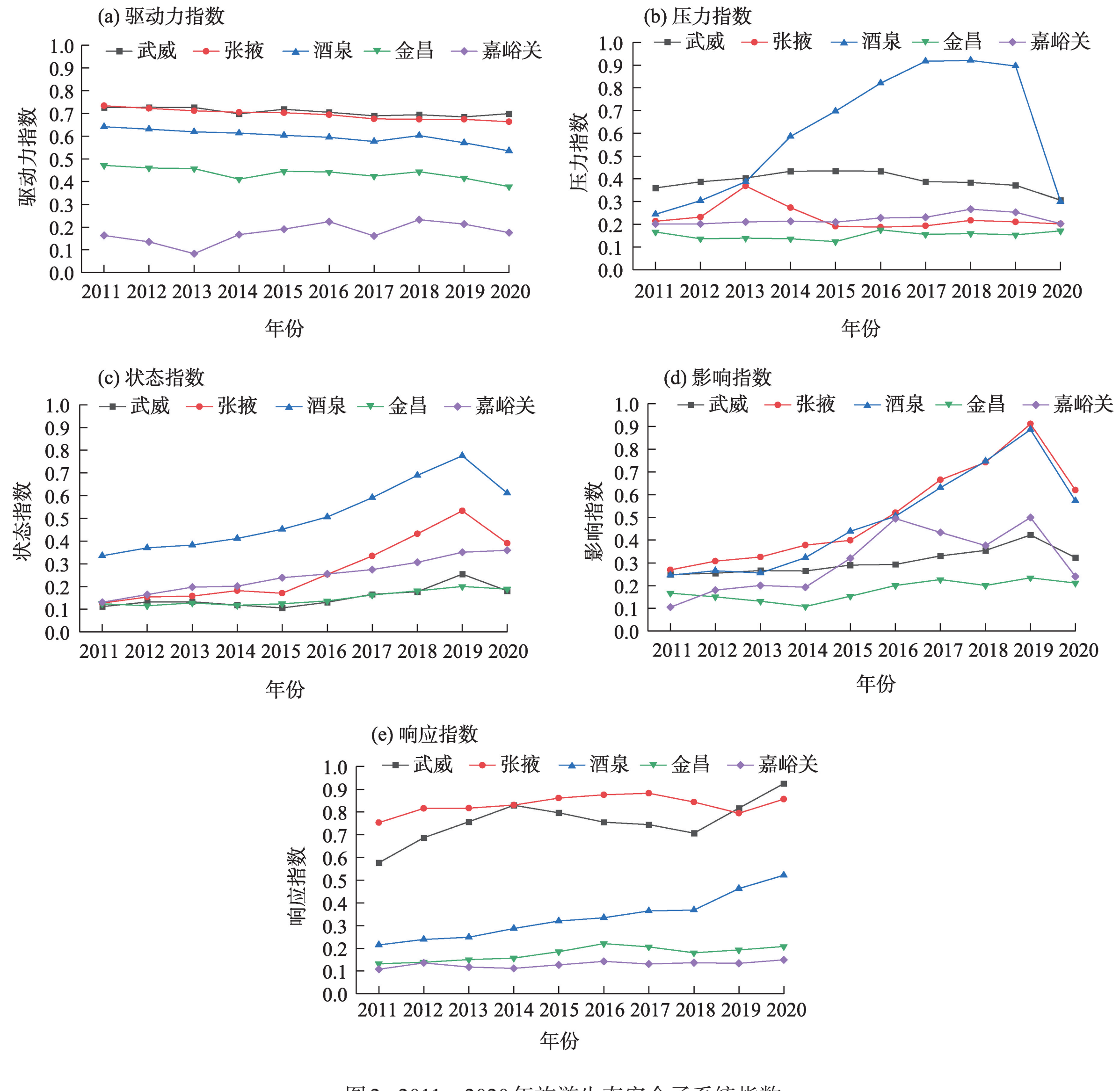


图2　2011—2020年旅游生态安全子系统指数

Fig. 2　Tourism ecological security subsystem indices from 2011 to 2020

境的明显改善所致。

影响指数。影响子系统安全指数上升幅度显著，平均状态指数2020年比2011年上升了0.1864，生态安全等级由2011年的较不安全上升到2019年的临界安全，受疫情影响导致人口自然增长率上升以及旅游收入减少，2020年安全等级转化为较不安全，但5市影响指数总体表现为上升趋势。张掖市影响指数呈逐年上升趋势，2019年达到最高点0.9115（图2d），主要原因是其旅游收入占地区生产总值比重以及第三产业比重显现上升态势，推动了张掖市影响指数总体提高。

响应指数。响应指数呈缓慢上升趋势，指数平均值在2011—2020年上升了0.1751，说明河西地区针对旅游生态安全问题所做举措与应对措施较为有效。河西5市10 a中响应指数幅度最大的是武威市和酒泉市，这主要体现在污水处理达标率、财政支出占地区生产总值的比重以及高等学校在校学生数3项指标的波动式上升。嘉峪关市响应指数幅度最小，仅仅提升了0.0412（图2e），这说明嘉峪关市相较于其他4市，在旅游生态安全措施有效性方面还有待加强。

2.2 模糊物元分析结果

从河西地区旅游生态安全欧式贴近度均值来看（表4），2011—2017年河西5市旅游生态安全欧式贴近度呈现上升演变趋势，2017—2020年区域呈波动式起伏发展态势，但总体上旅游生态安全水平逐步提升。

从2011、2014、2017年和2019年旅游生态安全等级变化看（图3），5市基本呈稳步提升态势。研究期间，5市主要处于较不安全与临界安全状态，其中处于较不安全状态共21次，从大到小依次为嘉峪关市（6次）、金昌市、酒泉市、张掖市（4次）、武威市（3次）；处于临界安全状态共26次，从大到小分别为武威市、张掖市、酒泉市、金昌市（6次）、嘉峪关市（2次），此外，较安全状态仅出现1次（武威市），不安全状态出现2次（嘉峪关市）。

表4 2011—2020年河西5市旅游生态安全指数均值

Tab. 4 Average value of tourism ecological security index in five cities of the Hexi Corridor from 2011 to 2020

年份	2011	2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020
生态安全指数均值	0.2445	0.3253	0.3579	0.3962	0.4145	0.4341	0.4974	0.4398	0.5124	0.3856

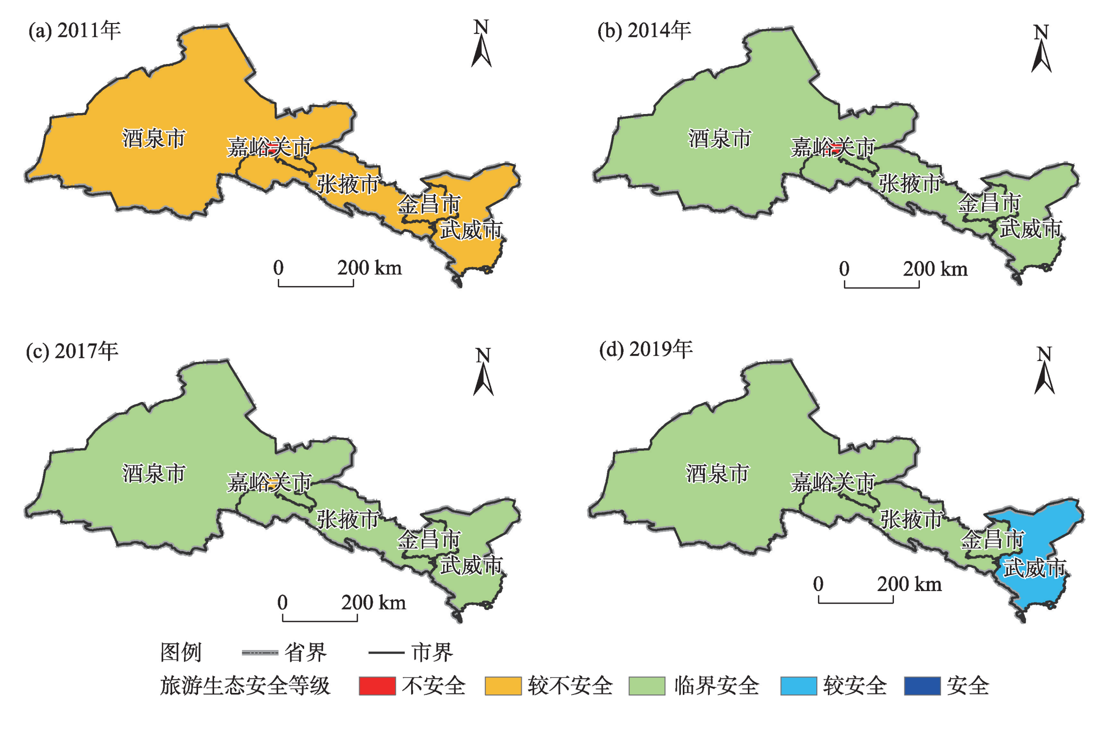


图3 河西5市旅游生态安全等级分布

Fig. 3 Distribution of tourism ecological security level in five cities of the Hexi Corridor

2.3 2种方法结果比较

旅游生态安全评价具有一定的复杂性，不同的评价方法对于指标量化及要求各不相同。多数学者利用熵权TOPSIS法评价区域旅游生态安全状况，借助熵权法客观计算指标权重，该方法对基础数据及指标数量无严格限制，具有真实、直观、可靠的特点，但只能对于每个评价对象的优劣进行排序，灵敏度不强；少数学者将模糊物元模型引入区域旅游生态安全评价研究中，借助模糊物元模型消除指标体系的内生模糊性，将不确定性评价转化成确定性评价，创新了旅游生态安全评价方法。这2种方法虽都存在计算方便、指标无量纲化的优点，但在原始数据处理过程中仍存在一定差异，加之评价方法本身确立标准和计算方法也不相同，因此会对研究结果的数值变化产生一定影响。

熵权TOPSIS法计算得出的河西5市旅游生态安全指数均值排名依次为酒泉市(0.4955)>张掖市(0.4538)>武威市(0.4168)>嘉峪关市(0.2243)>金昌市(0.1902)，武威市、张掖市、酒泉市整体向“较不安全”向“临界安全”转化，其余2市则是由“不安全”等级向“较不安全”等级转化；模糊物元模型均值排名则为武威市(0.4709)>张掖市(0.4199)>金昌市(0.4158)>酒泉市(0.3983)>嘉峪关市(0.2989)，武威市、张掖市、金昌市、酒泉市、嘉峪关市旅游生态安全水平整体由“较不安全”向“临界安全”转化。

不同评价模型对评价结果的影响研究结果虽存在差异，但不会影响区域整体生态安全状况演变趋势，也说明了指标体系构建的合理性，能够有效确保该研究的准确性。经过对比分析以及结合河西5市实际发展情况发现，模糊物元模型得出的评价结果可信度更高。

如表5所示，本研究对2种方法关于河西5市10 a期间的综合安全指数均值进行斯皮尔曼(Spearman)相关性分析，其评价结果有高度显著相关性。

表5　2种评价方法结果的相关性分析

Tab. 5　Correlation analysis of the results of the two evaluation methods

评价方法	模糊物元模型	熵权TOPSIS法
模糊物元模型	1.000	0.915**
熵权TOPSIS法	0.915**	1.000

注：**表示2种方法结果极显著相关。

Spearman相关系数(r)为0.915，$P<0.01$，具有统计学意义。

3 讨论

本文以河西走廊5个地级市为研究对象，在构建区域旅游生态安全评价指标体系的基础上，采用2种方法对区域旅游生态安全状况进行评价，遴选适宜方法，对旅游生态安全评价研究进行一定补充与完善。与现有研究相比，一方面，目前很少有针对河西走廊区域的旅游生态安全研究，穆学青等[2]、王兆峰等[34]、章锦河等[4]、石丹等[36]学者大多将研究对象集中在黄河流域、长江经济带、景区以及省份区域。另一方面，旅游生态安全领域研究方法多元，熵权TOPSIS法[16-17,23-24]使用较广。模糊物元模型方法近几年在旅游生态安全研究中得以应用，通过引入熵权TOPSIS法和模糊物元模型对河西地区旅游生态安全状况有效评价，得出模糊物元模型评价结果更佳，这也肯定了徐少癸等[21]、刘倩倩等[22]对于模糊物元模型在旅游生态安全研究中的应用。2种方法的对比分析不仅能降低旅游生态安全评价研究的不确定性，在评价区域旅游生态安全同时也为后续相关研究提供了方法参考。

4 结论

(1) 从旅游生态安全整体状况来看，河西地区旅游生态安全总体呈上升趋势。熵权TOPSIS法得出的结果显示，河西地区旅游生态安全指数由2011年的0.2748上升至2020年的0.3844，上升幅度为0.1096，生态安全整体处于提升态势。模糊物元模型得出的结果显示，河西地区旅游生态安全综合指数总体处于上升趋势，其中2011—2017逐年上升，2017—2020区域波动式起伏。

(2) 从子系统角度看，驱动力与压力指数变化趋势说明该地区旅游经济发展与生态安全长期处于协调发展中；5市影响与状态指数变化趋势相似，2011—2020年内两者走势基本一致，这表明生态环境的治理和保护要持之以恒；响应指数的变化趋势代表了5市政府在10 a内生态安全保护方面的举措成果。

(3) 从研究方法上看，2种方法对比分析区域旅游生态安全状况也是本文的创新之处。2种方法的

评价结果对比分析得出较为适宜的旅游生态安全评价模型为模糊物元模型。

参考文献(References)

[1] 杨秀平, 贾云婷, 刘利利, 等. 国内外旅游生态安全研究动态与前瞻综述[J]. 生态科学, 2022, 41(4): 223-230. [Yang Xiuping, Jia Yunting, Liu Lili, et al. Research trends and prospects of tourism ecological security at home and abroad[J]. Ecological Science, 2022, 41(4): 223-230.]

[2] 穆学青, 郭向阳, 明庆忠, 等. 黄河流域旅游生态安全的动态演变特征及驱动因素[J]. 地理学报, 2022, 77(3): 714-735. [Mu Xueqing, Guo Xiangyang, Ming Qingzhong, et al. Dynamic evolution characteristics and driving factors of tourism ecological security in the Yellow River Basin[J]. Acta Geographica Sinica, 2022, 77(3): 714-735.]

[3] 肖笃宁, 陈文波, 郭福良. 论生态安全的基本概念和研究内容[J]. 应用生态学报, 2002, 13(3): 354-358. [Xiao Duning, Chen Wenbo, Guo Fuliang. On the basic concepts and contents of ecological security[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2002, 13(3): 354-358.]

[4] 章锦河, 张捷, 王群. 旅游地生态安全测度分析——以九寨沟自然保护区为例[J]. 地理研究, 2008, 27(2): 449-458. [Zhang Jinhe, Zhang Jie, Wang Qun. Measuring the ecological security of tourist destination: Methodology and a case study of Jiuzhaigou[J]. Geographical Research, 2008, 27(2): 449-458.]

[5] Petrosillo I, Zurlini G, Grato E, et al. Indicating fragility of socio-ecological tourism-based systems[J]. Ecological Indicators, 2006, 6(1): 104-113.

[6] Jurado E N, Tejada M T, Garcia F A, et al. Carrying capacity assessment for tourist destinations: Methodology for the creation of synthetic indicators applied in a coastal area[J]. Tourism Management, 2012, 33(6): 1337-1346.

[7] Pueyo-Ros J, Garcia X, Ribas A, et al. Ecological restoration of a coastal wetland at a mass tourism destination: Will the recreational value increase or decrease?[J]. Ecological Economics, 2018, 148: 1-14.

[8] Connor C, Gyan P N. Connecting landscape-scale ecological restoration and tourism: Stakeholder perspectives in the great plains of North America[J]. Journal of Sustainable Tourism, 2022, 30(11): 2595-2613.

[9] Brehony P, Tyrrell P, Kamanga J, et al. Incorporating social-ecological complexities into conservation policy[J]. Biological Conservation, 2020, 248(4): 108697, doi: 10.1016/j.biocon.2020.108697.

[10] Salamawi A, Atkilt G, Gebremedhin N A. Potential ecotourism site suitability evaluation for sustainable natural resource management in Kafta Sheraro National Park (KSNP), north-western Tigray, Ethiopia[J]. Journal of Ecotourism, 2021, 20(4): 341-370.

[11] Ambecha A B, Melka G A, Gemeda D O. Ecotourism site suitability evaluation using geospatial technologies: A case of Andiracha district, Ethiopia[J]. Spatial Information Research, 2020, 28(5): 559-568.

[12] 李伊彤, 荣丽华, 李文龙, 等. 生态重要性视角下东北林区县域生态安全格局研究——以呼伦贝尔市阿荣旗为例[J]. 干旱区地理, 2022, 45(5): 1615-1625. [Li Yitong, Rong Lihua, Li Wenlong, et al. Ecological security pattern at country level in northeast forest area of China from the perspective of ecological importance: A case of Arun Banner in Hulun Buir City[J]. Arid Land Geography, 2022, 45(5): 1615-1625.]

[13] 程静, 王鹏, 陈红翔, 等. 半干旱区生态风险时空演变及其影响因素的地理探测——以宁夏盐池县为例[J]. 干旱区地理, 2022, 45(5): 1637-1648. [Cheng Jing, Wang Peng, Chen Hongxiang, et al. Geographical exploration of the spatial and temporal evolution of ecological risk and its influencing factors in semi-arid regions: A case of Yanchi County in Ningxia[J]. Arid Land Geography, 2022, 45(5): 1637-1648.]

[14] 吴艳霞, 邓楠. 基于RBF神经网络模型的资源型城市生态安全预警——以榆林市为例[J]. 生态经济, 2019, 35(5): 111-118. [Wu Yanxia, Deng Nan. Ecological security warning for resource-based cities on RBF neural network model: Taking Yulin City as an example[J]. Ecological Economy, 2019, 35(5): 111-118.]

[15] 陈英, 孔喆, 路正, 等. 基于RBF神经网络模型的土地生态安全预警——以甘肃省张掖市为例[J]. 干旱地区农业研究, 2017, 35(1): 264-270. [Chen Ying, Kong Zhe, Lu Zheng, et al. Land ecological security early-warning based on RBF neural network: A case of Zhangye in Gansu Province[J]. Agricultural Research in the Arid Areas, 2017, 35(1): 264-270.]

[16] 徐美, 刘春腊, 李丹, 等. 基于改进TOPSIS-灰色GM(1, 1)模型的张家界市旅游生态安全动态预警[J]. 应用生态学报, 2017, 28(11): 3731-3739. [Xu Mei, Liu Chunla, Li Dan, et al. Tourism ecological security early warning of Zhangjiajie, China based on the improved TOPSIS method and the grey GM(1, 1) model[J]. Chinese Journal of Applied Ecology, 2017, 28(11): 3731-3739.]

[17] 蒋贵彦, 运迎霞, 任利剑, 等. 基于改进TOPSIS模型的西部河谷型城市生态安全时空分异及障碍因子诊断[J]. 安全与环境学报, 2020, 20(1): 342-351. [Jiang Guiyan, Yun Yingxia, Ren Lijian, et al. Spatial-temporal discrimination and the related obstacle factor diagnosis for the valley cities urban eco-security in China west based on the improved TOPSIS method[J]. Journal of Safety and Environment, 2020, 20(1): 342-351.]

[18] Liu Y, Qu Y, Cang Y D, et al. Ecological security assessment for megacities in the Yangtze River Basin: Applying improved emergy-ecological footprint and DEA-SBM model[J]. Ecological Indicators, 2022, 134(11): 108481, doi: 10.1016/J.ECOLIND.2021.108481.

[19] Han Y, Tang C C, Zeng R. Review of tourism ecological security from the perspective of ecological civilization construction[J]. Journal of Resources and Ecology, 2022, 13(4): 734-745.

[20] 卢璐, 曾坚, 于天虎. 旅游生态安全研究进展[J]. 生态科学, 2023, 42(2): 238-247. [Lu Lu, Zeng Jian, Yu Tianhu. A review of studies on tourism ecological security[J]. Ecological Science, 2023, 42(2): 238-247.]

[21] 徐少癸, 左逸帆, 章牧. 基于模糊物元模型的中国旅游生态安全评价及障碍因子诊断研究[J]. 地理科学, 2021, 41(1): 33-43.

[Xu Shaogui, Zuo Yifan, Zhang Mu. Evaluation of tourism ecological security and diagnosis of obstacle factors in China based on fuzzy object element model[J]. Scientia Geographica Sinica, 2021, 41(1): 33-43.]

[22] 刘倩倩, 张鑫, 吴寒青. 基于模糊物元模型的旅游生态安全测度及障碍因子分析——以安徽省为例[J]. 林业经济, 2022, 44(8): 42-60. [Liu Qianqian, Zhang Xin, Wu Hanqing. Evaluation on tourism ecological security and diagnosis of its obstacle indicators based on fuzzy matter-element model: Example of Anhui Province [J]. Forestry Economics, 2022, 44(8): 42-60.]

[23] 杨友宝, 郭付友, 韩国圣. 我国主体功能限制开发区域旅游生态安全动态演变及驱动因素研究——以张家界为例[J]. 生态学报, 2023, 43(20): 8404-8416. [Yang Youbao, Guo Fuyou, Han Guosheng. Dynamic evolution and driving factors of tourism ecological security in the region of major function restricted development: A case study of Zhangjiajie[J]. Acta Ecologica Sinica, 2023, 43(20): 8404-8416.]

[24] 田里, 闫子豪, 王桀. 边境旅游生态安全时空格局及影响因素分析[J]. 生态经济, 2023, 39(7): 149-156. [Tian Li, Yan Zihao, Wang Jie. The analysis of spatial-temporal pattern and influencing factors of border tourism ecological security[J]. Ecological Economy, 2023, 39(7): 149-156.]

[25] 马俊梅, 马剑平, 满多清, 等. 河西走廊天然胡杨林的分布和更新特征及其与土壤因子的关系[J]. 干旱区研究, 2023, 40(2): 224-234. [Ma Junmei, Ma Jianping, Man Duoqing, et al. Distribution and regeneration characteristics of natural *Populus euphratica* forests in Hexi Corridor and their relationship with soil factors[J]. Arid Zone Research, 2023, 40(2): 224-234.]

[26] 张建清, 张岚, 王嵩, 等. 基于DPSIR-DEA模型的区域可持续发展效率测度及分析[J]. 中国人口·资源与环境, 2017, 27(11): 1-9. [Zhang Jianqing, Zhang Lan, Wang Song, et al. Study on regional sustainable development efficiency measurement and influencing factors: Based on DPSIR-DEA model[J]. China Population, Resources and Environment, 2017, 27(11): 1-9.]

[27] 孙业红, 宋雨新. 从韧性看可持续旅游发展[J]. 旅游学刊, 2021, 36(5): 8-10. [Sun Yehong, Song Yuxin. Sustainable tourism development from a resilience perspective[J]. Tourism Tribune, 2021, 36(5): 8-10.]

[28] Jopp R, Delacy T, Mair J, et al. Using a regional tourism adaptation framework to determine climate change adaptation options for Victoria's surf coast[J]. Asia Pacific Journal of Tourism Research, 2013, 18(1-2): 144-164.

[29] 魏冶, 修春亮. 城市网络韧性的概念与分析框架探析[J]. 地理科学进展, 2020, 39(3): 488-502. [Wei Ye, Xiu Chunliang. Study on the concept and analytical framework of city network resilience[J]. Progress in Geography, 2020, 39(3): 488-502.]

[30] 蔡超岳, 唐健雄, 何庆. 中国旅游经济韧性与旅游发展质量的关系研究[J/OL]. 湖南师范大学自然科学学报. [2023-08-14]. http://kns.cnki.net/kcms/detail/43.1542.n.20220803.2058.002.html. [Cai Chaoyue, Tang Jianxiong, He Qing. Research on the relationship between tourism economic resilience and tourism development quality in China[J/OL]. Journal of Natural Science of Hunan Normal University. [2023-08-14]. http://kns.cnki.net/kcms/detail/43.1542.n.20220803.2058.002.html.]

[31] 黄暄皓, 梁佳丽, 黄昕, 等. 沙滩-社区系统健康韧性评价——以深圳市大鹏半岛为例[J]. 生态学报, 2021, 41(22): 8794-8806. [Huang Xuanhao, Liang Jiali, Huang Xin, et al. Evaluation of the health-resilience of beach-community system: A case study of Dapeng Peninsula, Shenzhen City[J]. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(22): 8794-8806.]

[32] 江磊, 张佑印, 张景全, 等. 基于熵权-TOPSIS法的省域休闲体育竞争力评价及差异特征分析[J]. 陕西师范大学学报(自然科学版), 2022, 50(6): 113-123. [Jiang Lei, Zhang Youyin, Zhang Jingquan, et al. Evaluation and difference analysis of provincial leisure sports competitiveness based on entropy weight TOPSIS method[J]. Journal of Shaanxi Normal University (Natural Science Edition), 2022, 50(6): 113-123.]

[33] 杨良健, 曹开军. 基于DPSIR模型的伊犁河谷旅游生态安全评价及动态预警分析[J]. 生态经济, 2020, 36(11): 111-117. [Yang Liangjian, Cao Kaijun. Tourism ecological security early warning of Ili River Valley based on DPSIR model[J]. Ecological Economy, 2020, 36(11): 111-117.]

[34] 王兆峰, 陈青青. 1998年以来长江经济带旅游生态安全时空格局演化及趋势预测[J]. 生态学报, 2021, 41(1): 320-332. [Wang Zhaofeng, Chen Qingqing. Spatio-temporal pattern evolution and trend prediction of tourism ecological security in the Yangtze River Economic Belt since 1998[J]. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41 (1): 320-332.]

[35] 魏小衬, 李陇堂. 基于DPSIR模型的西北干旱风沙区旅游生态安全预警研究——以宁夏回族自治区中卫市为例[J]. 生态经济, 2021, 37(6): 134-139. [Wei Xiaochen, Li Longtang. Study on early warning of tourism ecological security in northwest arid and windy sand area based on DPSIR model: Taking Zhongwei City of Ningxia Hui Autonomous Region as an example[J]. Ecological Economy, 2021, 37(6): 134-139.]

[36] 石丹, 关婧文. 基于DPSIR-物元的吉林省旅游生态安全时空格局测度及障碍诊断[J]. 生态学杂志, 2022, 41(8): 1653-1664. [Shi Dan, Guan Jingwen. Spatial-temporal pattern measurement and obstacle diagnosis of tourism ecological security based on DPSIR-matter-element in Jilin Province[J]. Chinese Journal of Ecology, 2022, 41(8): 1653-1664.]

[37] 秦晓楠, 程钰. 中国旅游城市生态安全系统评估与类型划分研究——基于节点权重约束网络DEA模型[J]. 地理科学, 2019, 39(1): 156-163. [Qin Xiaonan, Cheng Yu. Evaluation and type classification on Chinese tourist urban ecological security system: Based on the network DEA model with node weight[J]. Scientia Geographica Sinica, 2019, 39(1): 156-163.]

[38] 李玲. 新疆旅游生态安全评价及时空演变特征研究[J]. 生态经济, 2021, 37(8): 126-131. [Li Ling, Study on the eco-security evaluation and spatial-temporal evolution of tourism in Xinjiang[J]. Ecological Economy, 2021, 37(8): 126-131.]

[39] 马荥, 孙艳红. 基于DPSIR框架的黄河流域旅游生态安全动态评价研究[J]. 生态经济, 2021, 37(12): 145-151. [Ma Xing, Sun Yanhong. Dynamic evaluation of tourism ecological security in the

Yellow River Basin based on DPSIR framework[J]. Ecological Economy, 2021, 37(12): 145-151.]

[40] 陈丽, 宋小龙, 卜晓燕. 宁夏回族自治区旅游生态安全动态评价及其驱动机制[J]. 水土保持研究, 2020, 27(6): 278-284. [Chen Li, Song Xiaolong, Bu Xiaoyan. Dynamic evaluation and driving mechanism of tourism ecological security in Ningxia Hui Autonomous Region[J]. Research of Soil and Water Conservation, 2020, 27(6): 278-284.]

[41] 李锦宏, 曾雪, 曹庆瑶, 等. 喀斯特山地旅游生态系统安全评价及趋势预测——以贵州国际山地旅游目的地为考察样本[J]. 生态经济, 2022, 38(9): 145-151. [Li Jinhong, Zeng Xue, Cao Qingyao, et al. Evaluation and trend forecast of tourism ecological security in karst mountainous areas: Taking international mountain tourism destination of Guizhou Province as an investigation sample [J]. Ecological Economy, 2022, 38(9): 145-151.]

[42] Li Y J, Chen T, Hu J, et al. Tourism ecological security in Wuhan [J]. Journal of Resources and Ecology, 2013, 4(2): 149-156.

[43] 秦晓楠, 孙凤芝, 袁文华. 中国旅游城市生态安全系统作用机理研究——基于PLS与SD的组合[J]. 中国人口·资源与环境, 2019, 29(7): 31-40. [Qin Xiaonan, Sun Fengzhi, Yuan Wenhua. Research on action mechanism of ecological security system of Chinese tourist cities[J]. China Population, Resources and Environment, 2019, 29(7): 31-40.]

[44] 杨良健, 曹开军. 新疆85个县市旅游生态安全时空格局演变及驱动机制[J]. 生态学报, 2021, 41(23): 9239-9252. [Yang Liangjian, Cao Kaijun. Spatiotemporal pattern and driving mechanism of tourism ecological security in 85 counties and cities of Xinjiang[J]. Acta Ecologica Sinica, 2021, 41(23): 9239-9252.]

[45] Cai W. Extension theory and its application[J]. Chinese Science Bulletin, 1999, 44(17): 1538-1548.

[46] 肖芳淳. 模糊物元分析及其应用研究[J]. 强度与环境, 1995(2): 51-59. [Xiao Fangchun. Study for fuzzy-matter-element analysis and its applications[J]. Structure & Engineering, 1995(2): 51-59.]

[47] 徐美, 刘春腊. 张家界市旅游生态安全评价及障碍因子分析[J]. 长江流域资源与环境, 2018, 27(3): 605-614. [Xu Mei, Liu Chunla. Tourism ecological security evaluation and obstacle factors analysis of Zhangjiajie[J]. Resources and Environment in the Yangtze Basin, 2018, 27(3): 605-614.]

[48] Liu D D, Yin Z Y. Spatial-temporal pattern evolution and mechanism model of tourism ecological security in China[J]. Ecological Indicators, 2022, 139: 108933, doi: 10.1016/J.ECOLIND.2022.108933.

[49] Chen M T, Zheng L, Zhang D K, et al. Spatio-temporal evolution and obstacle factors analysis of tourism ecological security in Huanggang Dabieshan UNESCO Global Geopark[J]. International Journal of Environmental Research and Public Health, 2022, 19 (14): 8670, doi: 10.3390/IJERPH19148670.

Tourism ecological security assessment in Hexi Corridor region based on entropy weight TOPSIS method and fuzzy matter-element model

YANG Rongmei[1], ZHOU Hong[1,2], ZHANG Yanni[1], LU Xunxian[1], WANG Nana[1]

(1. School of Tourism, Northwest Normal University, Lanzhou 730000, Gansu, China; 2. Gansu Provincial Tourism Development Research Institute, Lanzhou 730000, Gansu, China)

Abstract: The assessment of ecological security in tourism destinations is intricately linked to the sustainable development of tourism, and the careful selection of evaluation methods plays a critical role in mitigating uncertainties surrounding the results of such assessments. On the basis of analysis, this study focuses on the tourism ecological safety situations in five prefecture-level cities in the Hexi Corridor region of Gansu Province, China from 2011 to 2020. It constructs a comprehensive index system for evaluating tourism ecological safety and uses the entropy weight TOPSIS method and the fuzzy matter-element model to quantitatively assess the results. (1) The results of both methods suggest that there is a general upward trend in tourism ecological security in the Hexi Corridor region. (2) The trend of change in the driving force and pressure composite indices in the Hexi Corridor region is coordinated, the trend of change in the impact and state composite indices is similar, and the response composite index better reflects the results of regional government initiatives. (3) The evaluation results obtained using the fuzzy matter-element model method have higher credibility. These findings can offer valuable insights for the selection of models to evaluate the ecological safety of tourism systems.

Key words: tourism ecological security; DPSIR model; fuzzy matter-element model; entropy weight TOPSIS; Hexi Corridor